昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, August 2007, 50(8): 801－806　ISSN 0454-6296

六种阳离子助剂对阿维菌素的增效作用

陈召亮，韩志任，马　超，翟茹环，慕　卫*

（山东农业大学植物保护学院，山东泰安　271018）

摘要：采用浸虫法和叶片药膜法比较了6种阳离子助剂与阿维菌素混用对小菜蛾 *Plutella xylostella* 3龄幼虫的增效作用，并通过测定助剂对阿维菌素药液物理性状的影响以及助剂对小菜蛾体内超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）、过氧化氢酶（catalases，CAT）和过氧化物酶（peroxidases，POD）3种保护酶活性的影响等方面对其增效机制进行了初步分析，为阳离子助剂在杀虫剂领域的开发提供一定的依据。结果表明：在400 mg/L以下，各阳离子助剂单独使用对小菜蛾3龄幼虫均无生物活性，但可明显提高阿维菌素对小菜蛾的药效。两种方法中，浸虫法的增效作用大于叶片药膜法，其中松香酸铜、1427和412103对阿维菌素的增效倍数分别为3.71、2.82和2.72。6种助剂均可明显降低阿维菌素药液的表面张力和接触角及增加药液在甘蓝叶片上的沉积量，但不同助剂间及相同助剂不同浓度间差异虽大多显著；与增效比结果综合分析表明，助剂的润湿性能与其增效作用之间关系不大。阿维菌素药液分别加入松香酸铜、1427和412103后使试虫体内POD和SOD的活性明显提高，从侧面说明这3种助剂对虫体更具渗透性。

关键词：小菜蛾；阿维菌素；阳离子助剂；增效作用；保护酶

中图分类号：S482.92　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2007)08-0801-06

Synergism of six cationic adjuvants to avermectin

CHEN Zhao-Liang, HAN Zhi-Ren, MA Chao, ZHAI Ru-Huan, MU Wei* (College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: In order to provide theoretical proofs for the application of cationic adjuvants, the synergism of six cationic adjuvants to avermectin on 3rd-instar larvae of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, were studied by dipping method and contact and stomach method in the laboratory. The effect of adjuvants on physical properties of avermectin dilutions and activities of three protective enzymes of *P. xylostella* larvae were also tested. The results showed that all cationic adjuvants had no direct biological activity alone under the concentration of 400 mg/L, but they could dramatically improved avermectin bioefficacy against *P. xylostella*. The synergism ability with dipping method was more obvious than with contact and stomach method. Among the six adjuvants, copper abietate, 1427 and 412103 had 3.71, 2.82 and 2.72-fold synergism ratio, respectively. Although all the six adjuvants could decrease the surface tension and contact angle of water dilutions of avermectin EW and increase their depositing rates on the leaf of cabbage, they showed no significant difference either in different treatments or in different concentrations of the same adjuvant. These results suggested that the change of properties of dilutions by cationic adjuvant were not the main cause of synergism. The activities of peroxidases (POD) and superoxide dismutase (SOD) increased dramatically 2 h after being treated by avermectin dilutions which were added with copper abietate, 1427 and 412103. This implied that the three adjuvants had higher permeabilities on *P. xylostella* larvae.

Key words: *Plutella xylostella*; avermectin; cationic adjuvant; synergism; protective enzymes

小菜蛾 *Plutella xylostella* 是十字花科蔬菜的主要害虫，阿维菌素由于其独特的作用机制和优良的

基金项目：农业部农药化学与应用技术重点实验室开放基金资助项目（2004006）

作者简介：陈召亮，男，1982年生，山东武城人，硕士研究生，研究方向为农药毒理与应用技术，E-mail：skyworthy@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 0538-8242611; E-mail: muwei@sdau.edu.cn

收稿日期 Received: 2007-02-15；接受日期 Accepted: 2007-05-18

防治效果成为目前生产上防治小菜蛾的主导药剂，但是由于长期单一使用该种药剂，加之小菜蛾的世代周期短，繁殖力强，且发育不整齐，导致小菜蛾的抗药性迅速发展，使阿维菌素的防效迅速下降。据报道，在田间，小菜蛾已对阿维菌素产生了不同程度的抗药性（冯夏，1996；张雪燕和何婕，1998）。据Wright等（1995）报道，小菜蛾田间种群对阿维菌素已产生了高达195倍的抗性。目前延缓害虫抗药性发生的主要途径有开发农药新剂型或新制剂，农药复配以及添加增效助剂等。鉴于开发农药新品种的难度不断加大，与农药混配相比，使用增效助剂是一种更简便有效的途径，也日益成为农药专家研究的热点（张国生等，2000）。在当前使用的增效助剂中，酶抑制剂品种少，选择余地小，而在渗透剂品种上，已开发的杀虫剂增效助剂大多是阴离子型和非离子型助剂，而阳离子助剂具有较强的渗透作用以及低毒、低刺激等特点，具有一定的应用潜力，其对杀虫剂的增效作用在国内还未见报道。本研究比较了6种常见阳离子助剂与阿维菌素混用对小菜蛾幼虫的增效作用，并对增效机制进行了初步探讨，以期为开发新型农药增效助剂提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试小菜蛾为山东农业大学农药毒理与应用省级重点实验室继代饲养（25±1℃；RH 50%～70%；光周期16L∶8D）的种群，选取个体大小一致、活泼健康的3龄幼虫供试。

1.2 供试药剂及助剂

阿维菌素原药（95%），浙江海正药业股份有限公司；松香酸铜（12%）、1701（33%）和412103（75%），河南省道纯化工技术有限公司；1227（十二烷基二甲基苄基氯化铵）（45%）、1427（十四烷基二甲基苄基氯化铵）（45%）和C8-10（双八、十烷基季铵盐）（46.5%），山东省枣庄市中区泰和化工厂。

1.3 实验方法

1.3.1 生物测定方法：将阿维菌素原药用适量乙酸乙酯（分析纯）溶解，加适量非离子乳化剂，再加去离子水，配制成1%阿维菌素水乳剂，用去离子水稀释成5个梯度浓度，在各浓度药液中加入供试阳离子助剂，使其在药液中的含量分别为50、100、200、400 mg/L，以相同用量的阳离子助剂加非离子乳化剂的去离子水溶液为对照，分别采用浸渍法和叶片药膜法（李慧东和罗万春，2004）测定其对小菜蛾3龄幼虫的毒力，具体参照刘学涛等（2006）的方法。每处理20头试虫，重复3次，72 h检查试虫存活情况。计算校正死亡率，按照Finney机率分析法求出LC_{50}值，计算助剂对阿维菌素的增效作用。

增效比 = 药剂的LC_{50}/（助剂的LC_{50} + 药剂的LC_{50}）

1.3.2 阳离子助剂表面张力及接触角测定方法：将6种供试阳离子助剂按照0.01%、0.02%、0.04%的用量分别加入到1%的阿维菌素水乳剂1 000倍液中，然后利用XZD-3全量程界面张力-接触角测量仪测定上述几种溶液的表面张力及接触角。每处理重复测量3次。

1.3.3 阳离子助剂沉积量测定：采用丽春红G比色法（胡美英等，1998）测定沉积量。

1.3.4 小菜蛾体内保护酶活性测定：分别用阳离子助剂200 mg/L、含有200 mg/L不同阳离子助剂的阿维菌素0.5 mg/L药液处理3龄小菜蛾幼虫2 h，每处理各取20头存活幼虫，然后用清水将体表药液冲洗3遍，测定保护酶的活性。超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）活性测定参照李周直等（1994）及静天玉和赵晓瑜（1995）的方法；过氧化氢酶（catalases，CAT）活性测定参照Chance和Machly（1995）的方法；过氧化物酶（peroxidases，POD）活性测定参照Simon等（1974）的方法。酶的活性测定每处理均设3次重复。

2 结果与分析

2.1 阳离子助剂对小菜蛾的生物活性

各助剂在50、100、200、400 mg/L剂量下，采用浸渍法和叶片药膜法处理，小菜蛾3龄幼虫均无死亡情况。表明6种阳离子助剂在供试浓度下对小菜蛾均无直接毒杀活性。

2.2 不同浓度阳离子助剂对阿维菌素的增效作用

由表1浸虫法和表2叶片药膜法试验结果可知，两种方法下，6种阳离子助剂对阿维菌素均有一定的增效作用，不过浸虫法测得的增效作用明显高于叶片药膜法。在浸虫法试验结果中，松香酸铜、1427、412103的增效作用最明显，增效比分别为3.71、2.82和2.72。浸虫法各阳离子助剂对阿维菌素的增效作用与其浓度并不呈线性关系，而是随其浓度的增加达到最高后又降低，这说明在一定的浓度范围内并非阳离子助剂的浓度越高增效作用

越大。

松香酸铜、1427、412103 对阿维菌素有明显的增效作用，可能是因为它们改变了阿维菌素药液的物理特性，使甘蓝叶片和试虫体表粘着的药液增多，也可能是因为它们影响了小菜蛾体内的正常生理代谢，从而更有利于阿维菌素药效的发挥。

表 1　浸渍法测定阿维菌素与不同浓度的阳离子助剂混用对小菜蛾 3 龄幼虫的毒力

Table 1　Synergism of cationic adjuvants on avermectin against 3rd-instar larvae of *Plutella xylostella* with dipping method

处理 Treatment	供试浓度 Concentration (mg/L)	$b \pm SE$	LC_{50} (mg/L) (95%置信限，95% CI)	增效比 Synergism ratio
S + AV	50	1.6223 ± 0.1994	7.06 ± 0.85(5.58 ~ 8.93)	1.46
	100	1.7909 ± 0.2040	4.31 ± 0.45(3.52 ~ 5.28)	2.39
	200	1.4881 ± 0.1983	2.77 ± 0.39(2.10 ~ 3.64)	3.71
	400	1.6317 ± 0.2002	7.17 ± 0.87(5.66 ~ 9.09)	1.44
1427 + AV	50	1.5525 ± 0.1964	6.68 ± 0.81(5.26 ~ 8.47)	1.54
	100	1.6934 ± 0.2018	3.65 ± 0.40(2.93 ~ 4.53)	2.82
	200	1.7072 ± 0.2015	6.23 ± 0.69(5.01 ~ 7.73)	1.65
	400	1.6280 ± 0.1999	7.11 ± 0.85(5.62 ~ 9.00)	1.45
412103 + AV	50	1.3509 ± 0.1894	6.62 ± 0.91(5.06 ~ 8.66)	1.55
	100	1.8063 ± 0.2063	3.79 ± 0.41(3.06 ~ 4.69)	2.72
	200	1.5554 ± 0.1959	5.53 ± 0.77(4.42 ~ 6.91)	1.86
	400	1.6037 ± 0.1967	6.35 ± 0.63(5.01 ~ 8.06)	1.62
1227 + AV	50	1.3057 ± 0.1936	10.32 ± 1.79(7.34 ~ 14.50)	1.00
	100	1.4302 ± 0.1960	9.01 ± 1.35(6.71 ~ 12.09)	1.14
	200	1.5057 ± 0.1948	6.92 ± 0.87(5.41 ~ 8.85)	1.49
	400	1.4450 ± 0.1977	9.53 ± 1.47(7.04 ~ 12.89)	1.08
C8-10 + AV	50	1.2394 ± 0.1902	9.75 ± 1.71(6.91 ~ 13.74)	1.06
	100	1.4421 ± 0.1946	8.05 ± 1.13(6.11 ~ 10.60)	1.28
	200	1.4234 ± 0.1953	8.81 ± 1.30(6.59 ~ 11.76)	1.17
	400	1.4726 ± 0.1964	8.40 ± 1.18(6.38 ~ 11.05)	1.23
1701 + AV	50	1.4594 ± 0.1977	9.25 ± 1.39 (6.90 ~ 12.41)	1.11
	100	1.5233 ± 0.1995	8.90 ± 1.27(6.73 ~ 44.77)	1.16
	200	1.4417 ± 0.1940	7.81 ± 1.05(5.99 ~ 10.17)	1.32
	400	1.3211 ± 0.1945	10.43 ± 1.80(7.44 ~ 14.63)	0.99
AV	0	1.1965 ± 0.1895	10.29 ± 1.91(7.16 ~ 14.80)	–

AV：阿维菌素 Avermectin；S：松香酸铜 Copper abietate；1227：十二烷基二甲基苄基氯化铵 Dodecyr dimethyl benzyl ammonium chloride；1427：十四烷基二甲基苄基氯化铵 Tetradecane base dimethyl phenmethyl ammonium chloride；C8-10：双八、十烷基季铵盐 Double-stranded quaternary ammonium salt；1701，412103：季铵盐阳离子表面活性剂 Geminis ammonium salt cationic surfactants. 下同 The same below.

表 2　药膜法测定阿维菌素与不同浓度的阳离子助剂混用对小菜蛾 3 龄幼虫的毒力

Table 2　Synergism of cationic adjuvants on avermectin against 3rd-instar larvae of *Plutella xylostella* with contact and stomach method

处理 Treatment	供试浓度 Concentration (mg/L)	$b \pm SE$	LC_{50} (mg/L) (95%置信限，95% CI)	增效比 Synergism ratio
S + AV	100	1.3545 ± 0.1900	3.56 ± 0.50(2.70 ~ 4.69)	0.99
	200	1.1367 ± 0.1881	2.33 ± 0.47(1.57 ~ 3.44)	1.52
1427 + AV	100	1.1840 ± 0.1888	2.48 ± 0.46(1.72 ~ 3.57)	1.42
	200	1.2587 ± 0.1876	3.36 ± 0.51(2.49 ~ 4.53)	1.05
412103 + AV	100	0.9632 ± 0.1826	2.34 ± 0.54(1.48 ~ 3.69)	1.51
	200	1.2014 ± 0.1861	3.30 ± 0.53(2.40 ~ 4.52)	1.07
1227 + AV	100	1.0710 ± 0.1844	2.65 ± 0.51(1.82 ~ 3.86)	1.33
	200	1.2055 ± 0.1854	3.67 ± 0.56(2.72 ~ 4.95)	0.96
C8-10 + AV	100	1.1907 ± 0.1873	2.82 ± 0.48(2.02 ~ 3.92)	1.25
	200	1.2143 ± 0.1859	3.53 ± 0.54(2.62 ~ 4.76)	1.00
1701 + AV	100	1.1315 ± 0.1833	3.84 ± 0.61(2.82 ~ 5.25)	0.92
	200	1.2061 ± 0.1872	2.97 ± 0.50(2.13 ~ 4.12)	1.19
AV	0	1.2500 ± 0.1869	3.53 ± 0.53(2.63 ~ 4.73)	–

2.3 阳离子助剂对阿维菌素药液物理特性的影响

由表 3 可以看出,在阿维菌素 1 000 倍药液中分别加入浓度为 0.01%、0.02% 和 0.04% 的 6 种阳离子助剂均显著降低药液表面张力和接触角,并且增加其在甘蓝叶面的沉积量,这表明使用阳离子助剂后有助于改善药液在靶标上的湿润展着性能。不同助剂以及同一助剂不同浓度间在降低药液表面张力、接触角的能力上及增加药液在甘蓝叶片的沉积量上差别虽大多显著,不过将本结果与增效毒力结果综合分析,加入阳离子助剂后对药液物理性状的改变与增效之间并无直接关系。可以初步排除松香酸铜、1427 和 412103 3 种阳离子助剂对阿维菌素的增效作用是单纯由于提高药液的润湿性能所致。

表 3 6 种阳离子助剂对阿维菌素药液物理特性的影响

Table 3 Influence of six cationic adjuvants on physical properties of avermectin dilutions

处理 Treatment	稀释倍数 Diluted times	助剂用量(%) Concentration of cationic adjuvant	表面张力比单剂降低率(%) Decreasing rate of surface tension compared to avermectin dilution	接触角比单剂降低率(%) Decreasing rate of contact angle compared to avermectin dilution	药液沉积量比单剂提高率(%) Increasing of deposition rate compared to avermectin dilution
AV	1 000	–	–	–	–
S + AV	1 000	0.01	45.33 ± 0.42 bcde	45.34 ± 0.66 e	3.69 ± 0.18 l
	1 000	0.02	40.16 ± 0.45 f	43.47 ± 0.72 fg	7.34 ± 0.35 g
	1 000	0.04	42.98 ± 0.42 def	44.87 ± 0.55 efg	12.97 ± 0.47 a
412103 + AV	1 000	0.01	47.84 ± 0.40 ab	50.99 ± 0.56 bc	8.06 ± 0.31 ef
	1 000	0.02	48.20 ± 0.41 ab	52.14 ± 0.46 ab	11.59 ± 0.49 b
	1 000	0.04	50.11 ± 0.42 a	53.72 ± 0.64 a	9.73 ± 0.43 c
1427 + AV	1 000	0.01	40.35 ± 0.36 f	43.15 ± 0.61 g	3.47 ± 0.25 l
	1 000	0.02	47.69 ± 0.43 ab	47.33 ± 0.51 d	8.68 ± 0.41 d
	1 000	0.04	45.30 ± 0.41 bcde	45.22 ± 0.70 ef	6.81 ± 0.43 hi
1227 + AV	1 000	0.01	40.75 ± 1.28 f	43.93 ± 1.35 efg	5.54 ± 0.33 k
	1 000	0.02	41.48 ± 1.27 ef	44.28 ± 0.85 efg	6.19 ± 0.29 j
	1 000	0.04	43.16 ± 0.65 cdef	44.59 ± 0.49 efg	6.64 ± 0.36 i
C8-10 + AV	1 000	0.01	42.34 ± 0.89 def	45.38 ± 1.42 e	7.38 ± 0.25 g
	1 000	0.02	44.83 ± 1.18 bcde	47.87 ± 1.30 d	8.32 ± 0.30 def
	1 000	0.04	45.60 ± 0.43 bcd	47.09 ± 1.09 d	8.63 ± 0.31 d
1701 + AV	1 000	0.01	45.10 ± 1.09 bcde	45.44 ± 1.15 e	7.23 ± 0.27 gh
	1 000	0.02	47.13 ± 0.98 abc	48.53 ± 1.68 d	7.96 ± 0.26 f
	1 000	0.04	48.05 ± 0.95 ab	50.15 ± 1.11 c	8.45 ± 0.31 de

注:经 Duncan 新复极差检验,同列数据后不同字母表示处理之间差异显著($P < 0.05$),下表同。

Notes: The data in the same column followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ level by Duncan's test. The same for the following tables.

2.4 阳离子助剂对小菜蛾保护酶的影响

表 4 和表 5 分别为阳离子助剂和含有阳离子助剂的阿维菌素药液处理 2 h 酶活性测定结果。结果显示,在阳离子助剂浓度均为 200 mg/L 时,无论是单用助剂还是将助剂加入阿维菌素中均是以松香酸铜、1427 和 412103 对小菜蛾体内 SOD、POD 和 CAT 3 种保护酶活性的影响较显著,其他几种阳离子助剂对 3 种酶活性的影响不大。在这 3 种保护酶中以 POD 和 SOD 活性的变化较明显,而 CAT 活性的变化相对较小。加入阳离子助剂的阿维菌素药液处理的小菜蛾体内 SOD 和 POD 活性较单用阳离子助剂和阿维菌素均有较大的提高,CAT 活性也有一定程度的提高。

3 讨论

阳离子表面活性剂是一类重要的表面活性剂。它们主要用作工业杀菌消毒剂、道路建设中沥青的乳化剂、造纸工业的防腐剂和抗静电剂、纤维染色的缓染剂、化妆洗涤剂中的添加剂等(常青春,2003)。近几年,其应用领域不断拓宽,在高新技术领域如新材料、生命科学和生物技术、能源技术、新型分离技术等领域不断得到应用(陶玉钢等,2001)。目前国内外关于其在农药领域的应用研究较少,主要集中在除草剂的助剂方面,而将其作为杀虫剂的助剂使用研究其增效作用目前尚未见报道。松香酸铜是一种铜制剂,主要用作农用杀菌剂,其发挥作用的部位

表 4　6 种阳离子助剂处理 2 h 后对小菜蛾 3 龄幼虫体内 3 种保护酶活力的影响

Table 4　Influence of cationic adjuvants on three protected enzymes of 3rd-instar larvae of *Plutella xylostella* 2 h after treatment

助剂 Adjuvants	浓度 Concentration (mg/L)	酶活力 Enzyme activity		
		超氧化物歧化酶 SOD [U/(g·min)]	过氧化氢酶 CAT [g H_2O_2/(g·min)]	过氧化物酶 POD [ΔOD_{470}/(mg·min)]
S	200	2840 ± 43.15 b	11.5 ± 0.31 b	72 ± 3.52 a
1427	200	2990 ± 46.82 a	13.4 ± 0.44 a	65 ± 3.11 a
412103	200	2510 ± 41.77 c	11.2 ± 0.50 b	52 ± 2.47 b
1227	200	1630 ± 37.70 d	9.0 ± 0.37 c	38 ± 1.79 c
C8-10	200	1570 ± 39.94 d	9.3 ± 0.29 c	33 ± 1.93 c
1701	200	1590 ± 34.67 d	9.5 ± 0.34 c	36 ± 1.44 c
空白对照 CK	0	1520 ± 30.31 d	8.8 ± 0.26 c	31 ± 1.36 c

表 5　含阳离子助剂的阿维菌素药液处理 2 h 后对小菜蛾 3 龄幼虫体内 3 种保护酶活力的影响

Table 5　Influence of mixtures of cationic adjuvants and avermectin on three protected enzymes of 3rd-instar larvae of *Plutella xylostella* 2 h after treatment

助剂 Adjuvants	浓度 Concentration (mg/L)	酶活力 Enzyme activity		
		超氧化物歧化酶 SOD [U/(g·min)]	过氧化氢酶 CAT [g H_2O_2/(g·min)]	过氧化物酶 POD [ΔOD_{470}/(mg·min)]
S + AV	200	3552 ± 44.85 a	14.9 ± 0.55 b	89 ± 3.73 a
1427 + AV	200	3580 ± 45.99 a	15.5 ± 0.63 a	83 ± 3.40 a
412103 + AV	200	3195 ± 43.71 b	14.7 ± 0.58 b	68 ± 2.75 b
1227 + AV	200	1940 ± 39.08 c	10.8 ± 0.41 c	39 ± 1.71 c
C8-10 + AV	200	1891 ± 40.14 c	11.2 ± 0.39 c	35 ± 2.07 c
1701 + AV	200	1910 ± 39.79 c	9.9 ± 0.30 c	37 ± 1.54 c
AV	0	1894 ± 37.04 c	10.1 ± 0.36 c	41 ± 1.62 c
空白对照 CK	0	1520 ± 30.31 d	8.8 ± 0.26 d	31 ± 1.36 d

是铜离子，目前尚未见将其用作杀虫剂增效剂的报道，本实验通过比较几种常见的季铵盐阳离子助剂及将松香酸铜作为阳离子增效剂与阿维菌素混用对小菜蛾的增效作用，确定其中 3 种阳离子助剂对阿维菌素均有较明显的增效作用，具有一定的应用潜力，值得进一步研究。

据报道阿维菌素对小菜蛾的胃毒作用明显大于触杀作用（李慧东和罗万春，2004），这也与本实验结果相吻合。本研究结果还表明加入阳离子助剂可较明显的提高其室内触杀毒力，进而对阿维菌素起到增效作用。目前关于助剂增效作用机制的研究有以下几个方面：(1)改变杀虫剂药液的物理性状使之能充分发挥药效；(2)影响害虫正常的生理代谢过程，通过影响害虫体内的解毒酶、保护酶等的活性使杀虫剂不被迅速降解为无毒物而增效；(3)影响药剂对表皮的穿透性，有加速穿透和阻滞穿透两种可能（高聪芬等，1996）。本研究中阳离子助剂对阿维菌素药液物理特性的影响测定结果可以初步排除助剂对阿维菌素增效机制的第一种可能。6 种阳离子助剂对阿维菌素均有不同程度的增效作用，浸虫法和叶片药膜法相比，采用浸虫法阿维菌素药液的生物活性显著高于叶片药膜法的生物活性，这从一个侧面反映了使用该类助剂后更有利于阿维菌素药液对体壁的穿透，从而提高药效。

松香酸铜的阳离子部位是铜离子，1427 和 412103 的阳离子部位是季铵盐阳离子基团，由于昆虫的体表带有一定的负电荷，这更有利于药液较强的吸附在体表从而增加靶标体接触药液的量。另外，阳离子进入虫体后可以使蛋白质变性，从而增大细胞膜的通透性，使较多的药液更容易进入虫体，进而对虫体内的各种酶系的活性可能会有一定的影响。从单纯使用阳离子助剂对小菜蛾幼虫体内 POD、SOD 和 CAT 3 种保护酶的活性影响结果分析，增效作用较明显的 3 种助剂可使 POD 和 SOD 的活性显著增加，其他 3 种助剂对这两种酶活性的影响较小。将阳离子助剂加入阿维菌素药液中后，药液对 POD 和 SOD 的活性影响更明显，而且 CAT 活性也有了一定程度的提高。生物体内保护酶活性的变化是其对逆境的一种正常反应，此结果也说明松香酸铜、1427 和 412103 较其他 3 种阳离子助剂对小菜蛾体壁有更强的渗透作用，因此更容易使阿维菌素药液进入虫体，进而提高药效。另外，阿维菌素在环境中易光解，使喷布在靶标体的有效成分不能充分发挥药效，此 3 种阳离子助剂具有较强的渗透能力，

可以携带较多的阿维菌素较快穿透昆虫体壁进入虫体，从而较明显地提高其药效。

参 考 文 献（References）

Chance B，Machly AC，1955. Assay of catalases and peroxidases. In：Colowick SP，Kaplan NO eds. Methods in Enzymology. Vol. 2. New York：Academic Press. 764 – 755.

Chang QC，2003. The development and application of quaternary ammonium salt cationic surfactant. *Journal of Jiamusi University*（*Natural Science Edition*），21(4)：503 – 505.［常青春，2003. 季铵盐型阳离子表面活性剂的发展及应用. 佳木斯大学学报（自然科学版），21(4)：503 – 505］

Feng X，1996. Study on the resistance of diamondback moth to *Bacillus thuringiensis* in Guangdong. *Acta Entomol. Sin.*，39(3)：238 – 244.［冯夏，1996. 广东小菜蛾对苏芸金杆菌的抗性研究. 昆虫学报，39(3)：238 – 244］

Gao CF，Zhang X，Feng JT，1996. A review on the synergism of insecticide. *Acta Univ. Agric. Boreail-Occidentails*，1(24)：88 – 91.［高聪芬，张兴，冯俊涛，1996. 杀虫剂增效作用研究进展. 西北农业大学学报，1(24)：88 – 91］

Hu MY，Huang BQ，Xiao ZY，1998. Studies on the effect and mode of synergism of surfactant mixed with insecticides against litchi insect pests. *J. South China Agri. Univ.*，19(3)：41 – 46.［胡美英，黄炳球，肖整玉，1998. 表面活性剂对杀虫剂的增效机制及药效研究. 华南农业大学学报，19(3)：41 – 46］

Jing TY，Zhao XY，1995. The improved pyrogallol method by using terminating agent for superoxide dismutase measurement. *Prog. Biochem. Biophys.*，22(1)：84 – 86.［静天玉，赵晓瑜，1995. 用终止剂改进超氧化物歧化酶邻苯三酚测活法. 生物化学与生物物理进展，22(1)：84 – 86］

Li HD，Luo WC，2004. The toxicity of avermectin series to diamondback month *Plutella xylostella*（L.）under different temperature scales and ultraviolet light. *Acta Phytophylacica Sinica*，31(2)：190 – 197.［李慧东，罗万春，2004. 温度与光照对阿维菌素系列化合物毒力发挥的效应. 植物保护学报，31(2)：190 – 197］

Liu XT，Liu F，Mu W，Yang LL，Wei G，2006. Permeability of penetrating agents and their synergism to avermectin. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*，12(4)：480 – 482.［刘学涛，刘峰，慕卫，杨连来，魏光，2006. 几种渗透剂对阿维菌素的增效作用. 应用与环境生物学报，12(4)：480 – 482］

Li ZZ，Shen HJ，Jiang QY，1994. A study on the activities of endogenous enzymes of protective system in some insects. *Acta Entomol. Sin.*，37(4)：399 – 403.［李周直，沈惠娟，蒋巧银，1994. 几种昆虫体内保护酶活力的研究. 昆虫学报，37(4)：399 – 403］

Simon LM，Fatrai Z，Jonas DE，1974. Study of peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus vulgris*. *Biochem. Physiol. Pflanzen*，166：387 – 392.

Tao YG，Mao PK，Cui ZG，2001. The application of cationic surfactant in the field of high technology. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*，(6)：23 – 25.［陶玉钢，毛培坤，崔正刚，2001. 阳离子表面活性剂在高新技术领域中的应用. 日用化学工业，(6)：23 – 25］

Wright DJ，Iqbal M，Verkerk RHJ，1995. Resistance to *Bacillus thuringiensis* and abamectin in the diamondback moth，*Plutella xylostella*：A major problem for integrated pest management？*Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen Universiteit Gent*，60：927 – 933.

Zhang GS，Wang CM，Zheng RQ，2000. The application prospects and situation of pesticides synergic adjuvants. *Zhejiang Chemical Industry*，(4)：18 – 20.［张国生，汪灿明，郑瑞琴，2000. 浅谈农药增效剂现状及应用前景. 浙江化工，(4)：18 – 20］

Zhang XY，He J，1998. Report on the resistance of *Plutella xylostella* in Yunnan. *Yunnan Agricultural Science and Technology*，(4)：10 – 13.［张雪燕，何婕，1998. 云南省主要菜区小菜蛾抗药性研究初报. 云南农业科技，(4)：10 – 13］

（责任编辑：黄玲巧）